

**INTERFERROMETER, SHAPE MEASURING APPARATUS AND ALIGNER
AND SHAPE MEASURING METHOD AND EXPOSING METHOD**

Patent Number: JP2001215105

Publication date: 2001-08-10

Inventor(s): RYU SHIKYO

Applicant(s): NIKON CORP

Requested Patent: ☐ JP2001215105

Application Number: JP20000025387 20000202

Priority Number(s):

IPC Classification: G01B9/02; G01B11/24; G03F7/20; H01L21/027

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an interferrometer, a shape measuring apparatus and a shape measuring method which facilitates the altering of the contact of an interference fringe while making the optical paths of control and measuring lights almost the same the optical path.

SOLUTION: Spherical wave generation means (40, 42, 45 and 72) are so arranged to generate a spherical wave irradiate it onto surfaces (60 and 62) to be detected; optical members (44, 77, and 144) and 145 to divide the transmission light or the reflected light in two from the surfaces (60A, 62A, and 62B), to make one of the transmission light or the reflected light as measuring light; and diffraction members (46A and 14A) to diffract the other transmission light or reflected light divided by the optical members (44, 77, 144 and 145) so that control light of the spherical wave is generated.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-215105

(P 2 0 0 1 - 2 1 5 1 0 5 A)

(43) 公開日 平成13年 8 月10日 (2001.8.10)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G01B 9/02		G01B 9/02	2F064
11/24		G03F 7/20	503 2F065
G03F 7/20	503		521 2H097
	521	G01B 11/24	D 5F046
H01L 21/027			A

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全11頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-25387 (P 2000-25387)

(22) 出願日 平成12年 2 月 2 日 (2000.2.2)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

(72) 発明者 劉 志強

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内

最終頁に続く

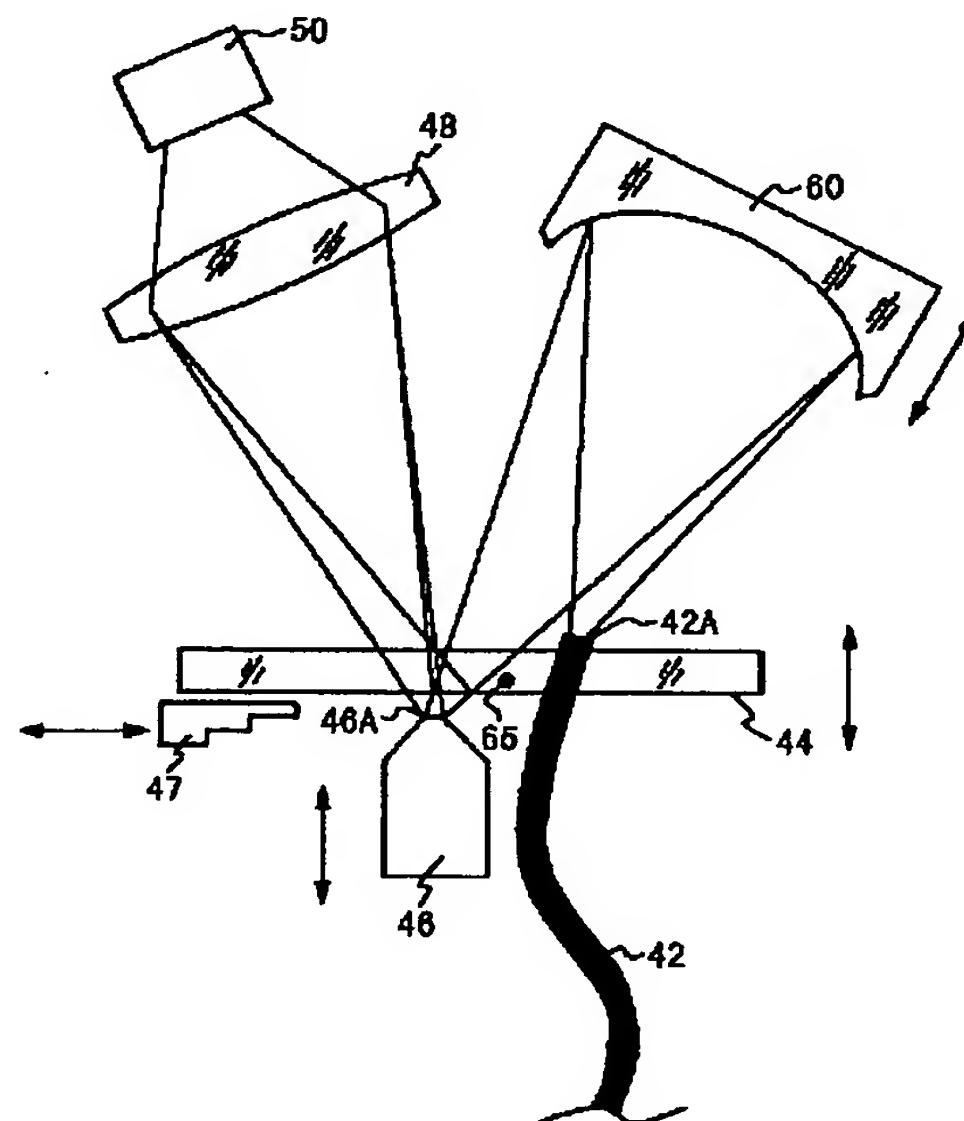
(54) 【発明の名称】 干渉計、形状測定装置及び露光装置、並びに形状測定方法及び露光方法

(57) 【要約】

【課題】 参照光と計測光の光路をほぼ同じにするとともに、干渉縞のコントラストを容易に変更できる干渉計、形状測定装置及び形状の測定方法を提供する。

【解決手段】 球面波を発生させて被検面(60, 62)に球面波を照射する球面波発生手段(40, 42, 45, 72)と、被検面(60A, 62A, 62B)からの透過光又は反射光を二つに分け、一方の透過光又は反射光を測定光とする光学部材(44, 77, 144, 145)と、光学部材(44, 77, 144, 145)により分けられた他方の透過光又は反射光を回折させて球面波の参照光を発生させる回折部材(46A, 146A)と、を有する。

100



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 測定光と参照光とを干渉面で干渉させて、被検物の被検面の形状を計測する干渉計において、球面波を発生させて前記被検面に前記球面波を照射する球面波発生手段と、前記被検面から出た測定光の一部を取り出す光学部材と、前記光学部材により取り出された一部の測定光を回折させて、球面波の参照光を発生させる回折部材と、

を有することを特徴とする干渉計。

【請求項 2】 前記光学部材の透過率又は反射率を調整する手段を備え、前記干渉縞のコントラストを調整することを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 3】 前記光学部材の透過率又は反射率を調整する手段を備え、前記干渉縞のコントラストを調整することを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 4】 前記測定光の測定波面と前記参照光の参照波面との位相差を調整する手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 5】 前記測定波面と前記参照波面との位相差を調整する手段は、前記光学部材又は前記回折部材の少なくとも一方移動させる手段を含むことを特徴とする請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 6】 前記測定波面と前記参照波面との位相差を調整する手段は、前記光学部材と前記回折部材との間に、光路長を変更させる手段を含むことを特徴とする請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 7】 前記光学部材又は前記回折部材とが一体又は別部材で形成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 8】 前記被検物が透過光学系又は反射光学系で形成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 9】 前記光学部材は偏光ビームスプリッタであることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 1 0】 前記測定光と前記参照光とを偏光する検光子を備え、該検光子の調整により前記干渉縞のコントラストを調整することを特徴とする請求項 9 記載の干渉計。

【請求項 1 1】 前記回折部材は反射回折部材であり、該反射回折部材の反射面の最大直径 ϕ が、以下の条件を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

$$\phi < \lambda r / 2 a$$

但し、 λ : レーザー光の波長、 r : 被検面の曲率半径、 a : 被検面の口径。

【請求項 1 2】 請求項 1 ~ 1 1 に記載した干渉計を、温度調節されたチャンバー内に載置したことを特徴とする形状測定装置。

【請求項 1 3】 請求項 1 ~ 1 1 に記載した干渉計を用いて計測された前記被検物を、投影光学系に備えたこと

を特徴とする露光装置。

【請求項 1 4】 球面波を発生させて被検物の被検面に前記球面波を照射させ、前記被検面から出た測定光から、光学部材によって一部の光束を取り出し、取り出された一部の光束を回折させて参照光とし、前記測定光と前記参照光とを干渉させて干渉縞を発生させて形状を計測することを特徴とする形状測定方法。

【請求項 1 5】 前記光学部材の透過率又は反射率を調整し、前記干渉縞のコントラストを調整することを特徴とする請求項 1 4 記載の形状測定方法。

【請求項 1 6】 前記測定光の測定波面と前記参照光の参照波面との位相差を調整することを特徴とする請求項 1 4 記載の形状測定方法。

【請求項 1 7】 前記光学部材を透過するときに生じる光の波面変形を算出又は測定し、形状を計測する際に、光の波面変形を考慮することを特徴とする請求項 1 4 ~ 1 6 に記載の形状測定方法。

【請求項 1 8】 前記被検面が非球面の際に、前記被検物を光軸方向に移動させることにより又は Null 素子を前記被検物の近傍に配置することにより、前記非球面を測定することを特徴とする請求項 1 4 ~ 1 6 に記載の形状測定方法。

【請求項 1 9】 前記光学部材と前記回折部材が、前記被検物を光軸方向に移動させることにより又は Null 素子を前記被検物の近傍に配置することにより、前記非球面を測定することを特徴とする請求項 1 3 ~ 1 6 に記載の形状測定方法。

【請求項 2 0】 請求項 1 3 ~ 1 9 の形状測定方法を使って測定された前記被検物を投影光学系に有し、前記投影光学系を介して原板に描かれたパターンを基板に露光することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】 本発明は、レンズ又はミラーなどの球面又は非球面の形状、及びレンズの透過波面を高精度に計測するための干渉計、形状測定装置又は形状測定方法に関する。また、これら干渉計等を用いて計測したレンズ又はミラーを使った露光装置又は露光方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 レンズ又はミラーなど（被検物）の球面又は非球面（被検面）の形状を高精度に計測する干渉計又は形状測定装置として、特開平 2-228505 号又は特開平 6-174447 号で開示される発明がある。これら公報で開示された干渉計又は形状測定装置は、レーザーをピンホール又は光ファイバーから照射し、そのレーザーの球面波を参照光として検出手段である CCD 等に到達させる。その一方で、レーザーをピンホール又は光ファイバーから照射し、そのレーザーの球面波を被検面に照射させその被検面からの反射光を、一旦ピンホール又は光ファイ

バーの周辺の反射面に到達させてから、その反射光を測定光として検出手段に到達させる。そして、これら参照光と測定光とを検出手段で干渉させて被検面の形状を測定するものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】特開平2-228505号、特開平6-174447号で開示された発明では、参照光は直接ピンホール又は光ファイバーから検出手段に到達するが、測定光はピンホール又は光ファイバーから被検面へ届き、被検面からピンホール又は光ファイバーの周縁へ再度戻り、それから検出手段に到達するため、ピンホール又は光ファイバーから被検面までの往復距離だけ余分に經由する。このためこの往復距離を經由しても参照光と測定光とが干渉するために、レーザーのコヒーレンシ（可干渉性）が高くなくてはならない。また、参照光はピンホール又は光ファイバーから検出手段に直接到達するため光量が落ちることがないが、測定光は被検面の反射が低い（例えば被検面が磨かれていない面である反射が低くなる）と、光量が落ちてしまう。従って、参照光と測定光との光量の違いにより干渉縞のコントラストが小さくなってしまふ。また、ピンホール又は光ファイバーからの球面波は、軸方向に光強度が強く軸から外れるにつれ光強度が弱くなる。被検物又はCCDが軸から外れる位置に配置された場合には、参照光と測定光との対称性がくずれ被検面の測定に誤差が生じるため、被検物又はCCD配置に制約があった。

【0004】本発明は、このような従来技術の問題点を鑑みてなされたものであり、参照光と計測光の光路をほぼ同じにすることができ、また干渉縞のコントラストを容易に変更できる干渉計、形状測定装置及び形状の測定方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明によると、球面波を発生させて被検面(60, 62)に球面波を照射する球面波発生手段(40, 42, 45, 72)と、被検面(60A, 62A, 62B)から出た測定光の一部を取り出す光学部材(44, 77, 144, 145)と、光学部材(44, 77, 144, 145)で取り出された一部の測定光を回折させて、球面波の参照光を発生させる回折部材(46A, 146A)と、を有することを特徴とする干渉計が提供される。

【0006】この構成により、測定光と参照光とがほぼ同じ距離を經由して測定面に到達することができる。従って、レンズ又はミラーなどの形状の測定誤差が少なくなるとともに光源のコヒーレント長が短くてすむ。また、干渉縞のコントラストの調整も容易にできる。

【0007】また、光学部材(44, 144, 145)がハーフミラーであれば、ハーフミラーの透過率又は反射率を調整することにより、干渉縞のコントラストを調整することができる。光学部材が偏光ビームスプリッタ(77)であれば、検光子(94)を調整することにより干渉縞のコントラ

ストを調整することができる。

【0008】さらには、この干渉計で測定された被検物を、露光装置の投影光学系に適用することができる。

【0009】

【発明の実施の形態】一形状の測定装置の全体構成一

図1は、レンズ又はミラーなどの球面又は非球面の形状を高精度に計測するための干渉計を備えた形状測定装置の全体構成である。定盤10は、床15からの振動を遮断するためにエア/ゴムダンパ及びアクチュエータを用いた防振装置20によって支えられている。定盤10上には、X軸、Y軸及びZ軸方向、並びにX軸を中心に回転する θ_x 、Y軸を中心に回転する θ_y 及びZ軸を中心に回転する θ_z 方向に、レンズ又はミラーなどの被検物60を移動させるステージ32が設けられている。また定盤10上にはステージ32の位置を計測するレーザー測長干渉計30が設けられている。ステージ32上にはレンズ又はミラーなど被検物60を真空吸着するチャック34、及びレーザー測長干渉計30からのレーザー光を反射するための移動鏡36が設けられている。定盤10上には、被検物60を測定する干渉計100を窒素又はヘリウムで密封し、湿度温度管理するためのチャンバー壁70が設けられている。

【0010】干渉計100は、He-Neレーザー光源40からのレーザー光を導く光ファイバー42と、一部の光を反射させ一部の光を透過させるハーフミラー44等の光学部材と、反射面を有する反射型回折ピン46等の反射部材と、光を集光する集光レンズ48と、光を電気信号に変換するCCD等の光電変換器50からなる。光電変換器50からの出力はコンピュータ55に取り込まれて解析され、干渉縞の状態から被検面の球面形状又は収差などが求められる。なお、図1中、レーザー測長干渉計30及びレーザー光源40はチャンバー壁70内に配置されていないが、これは熱源となるものをチャンバー壁70内に入れない理由による。しかし、空調設備に余裕があればレーザー測長干渉計30及びレーザー光源40をチャンバー壁70内に配置してもよい。また、図1中、光ファイバー42はハーフミラー44を貫通するように描いてあるが、ハーフミラー44が小さければハーフミラー44の側面に配置してもよい。

【0011】一第1実施例の干渉計一

図2は、図1中の干渉計100を拡大したものである。不図示のレーザー光源40からのレーザー光は、単一モード光ファイバー42で平行光の形で導かれ、出射端42Aから球面波として、被検物60の表面（被検面）に照射される。光ファイバー42の出射端42Aは、被検物60の軸中心に向かって配置される。このように配置することにより、球面波が被検面に軸対称に照射されて対称性の良い測定が可能となる。より正確な球面波を出射端42Aから出射させるため、光ファイバー42のコア径（直径） ϕ は、以下の条件である必要がある。

$$\lambda/2 < \phi < \lambda r/2a$$

λ : レーザー光の波長、 r : 被検面の曲率半径、 a : 被

検面の口径

この条件についての詳細は、特開平4-174447号に開示されている。被検物60の表面（被検面）に照射された球面波が、その被検面で反射されてハーフミラー44を経由して反射型回折ピンに集光するように、被検物60、ハーフミラー44及び反射型回折ピン46を配置する。被検面で反射された光（測定光）の一部は、ハーフミラー44で反射されて集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。また、反射された測定光の一部は、ハーフミラー44を透過し反射型回折ピン46の面46Aに届き、反射型回折ピン46の面46Aで反射回折してハーフミラー44を透過し集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。この反射型回折ピン46で回折反射された光は参照光となる。測定光と参照光とは、CCD50で干渉し干渉縞として測定される。CCD50を配置するかわりに、スリガラス等を用いて直接干渉縞を目視することも可能である。

【0012】反射型回折ピン46の面46Aは、金属を鏡面仕上げしたものであってもよいし、セラミックの表面を反射膜（アルミ等）を蒸着させて形成してもよい。また、面46Aの形状は、円形、楕円形、四角形又は八角形で形成すればよい。この面46Aに要求されることは、ハーフミラー44を透過した光を反射させて球面の回折光（参照光）を発生させることである。このため、できるだけ平坦な面であること、また、以下の条件を満たす最大径（楕円であれば長軸） ϕ であることが面46Aに要求される。

$$\text{【0013】 } \phi < \lambda r / 2a$$

これは、面46Aの直径が上記式よりも大きいと、ピン46から発生する球面波の回折光に歪が生じるため、参照光として役立たなくなるからである。図2中のハーフミラー44は、下面に反射膜が形成されているので、反射された球面波の一部が下面で反射しているが、ハーフミラー44の上面に反射膜が形成されていてもよい。また、ハーフミラー44の上面（表面）が図5に示すような半球状のものであってもよい。

【0014】ハーフミラー44自体も、完全な平面でなく所定のうねり又は荒さを有しているため、球面波の回折光（参照光）がハーフミラー44を透過する際に発生する波面の変化を事前に計算によって求めておくか、被検物の代わりに原器を配置して求める必要がある。これらの手法によって求められた波面の変化による誤差は、干渉縞の解析をコンピュータ55で行う際に、キャリブレーションを行って取り除けばよい。またハーフミラー44の透過率／反射率は、必要な干渉縞のコントラストに応じて適宜設計すればよい。

【0015】また、第1実施例の干渉計では、被検物60に入射する光ファイバー42からの光の発光点（端点42A）は、被検物60の近軸曲率中心点65から離れているため、測定誤差が生じる。この発光点42Aと近軸曲率中心点65とが離れることによって生じる測定誤差も事前に計

算によって求めておくか、被検物の代わりに原器を配置して求め、キャリブレーションを行って取り除く。

【0016】参照光の参照波面と測定光の測定波面との位相差を異ならせて干渉縞の明暗を確認するためには、ハーフミラー44とピン46との光学間隔を調整することによって干渉縞の縞走査を行う。かかる光学間隔は、ハーフミラー44とピン46との少なくとも一方を不図示のピエゾ、モータなどアクチュエータによって、図2中の矢印方向に移動させることによって調整する。なお、ハーフミラー44とピン46との間隔は最大でもレーザー光源のコヒーレント長の半分以上とするのが好ましい。なぜなら、ハーフミラー44とピン46との間隔がレーザー光源のコヒーレント長の半分以上であると、ハーフミラー44で反射した測定光が、ピン46で反射した参照光と干渉しなくなるからである。

【0017】また、ハーフミラー44とピン46との光学間隔を固定のままで、ハーフミラー44とピン46との間の屈折率を変えることでも同様に位相差を異ならせて干渉縞の明暗を変えることができる。具体的には、異なる屈折率のガラス板を差し替えること、ハーフミラー44とピン46との間を密閉して気圧を替えること、または均一な屈折率を有するガラスの厚みを段階的に変えた光学部材47を段階的に入れることで、ハーフミラー44とピン46との間の屈折率を変えることができる。なお、被検物60の被検面が非球面の場合には、曲率半径が部分毎に異なるから、ピエゾ、モータなどを備えたステージ32によって、被検物60を図2中の矢印方向に移動させることによって形状を測定する。

【0018】—第2実施例の干渉計—

図3は、第2実施例の干渉計100を説明するものである。第1実施例と同じ部材には同一番号を付している。図3Aにおいて、不図示のレーザー光源40からのレーザー光は、集光レンズ41によってピンホール板45のピンホール45Aを通過し、ピンホール45Aから球面波として、被検物60の表面（被検面）に照射される。第1実施例と同様に集光レンズ41は、被検物60の軸中心に向かって配置される。より正確な球面波をピンホール45Aから出射させるため、ピンホール45Aの径（直径） ϕ は、以下の条件である必要がある。

$$\lambda / 2 < \phi < \lambda r / 2a$$

λ : レーザー光の波長、 r : 被検面の曲率半径、 a : 被検面の口径

この条件についての詳細は、特開平2-228505号に開示されている。

【0019】図3Bにピンホール板45を下（裏面）から見た図を示す。ガラス板の右半分はピンホール45Aを除いてクロム等でコーティングする。こうすることで余分な光が被検物60に届かないように遮光することができる。ガラス板の左半分は下面に反射膜が形成され、反射された球面波の一部が反射し一部が透過するようハーフ

ミラーになっている。この反射／透過率は適宜調整されることは、第1実施例のハーフミラーと同様である。第1実施例の干渉計と第2実施例の干渉計とは、被検物に照射する球面波の発生方法に違いがあるがそれ以外に大きな差異はない。

【0020】—第3実施例の干渉計—

図4は、第3実施例の干渉計100を説明するものである。第1、2実施例と同じ部材には同一番号を付している。図4のレーザー光源40からのレーザー光は、S偏光成分、P偏光成分の光を分けるビームスプリッタ80に入射する。S偏光成分の光は、ビームスプリッタ80で反射され $\lambda/4$ 板82を経由して固定ミラー84で反射し、再度 $\lambda/4$ 板82を経由してP偏光となってビームスプリッタ80に入射する。P偏光成分の光は、ビームスプリッタ80を透過し $\lambda/4$ 板86を経由して移動ミラー88で反射し、再度 $\lambda/4$ 板86を経由してS偏光となってビームスプリッタ80に入射する。P S偏光成分の光は集光レンズ41を経由しピンホール板72のピンホール72Aを通過しピンホール72Aから球面波として、被検物60の表面（被検面）に照射される。ピンホール72Aの径（直径） ϕ は、第2実施例と同様である。図4中では集光レンズ41等が、被検物60の軸中心に向かって配置されていないが、球面波の対称性を維持するために、被検物60の軸中心に向かって配置することが好ましい。

【0021】被検物60の表面（被検面）に照射された球面波は、その被検面で反射されて偏光ミラー144を経由して反射型回折面147に集光する。偏光ミラー144は、照射された球面波が変形しないように設計されており、裏面にS偏光を透過しP偏光を反射させる膜が形成されている。その膜の裏面には反射型回折面147はアルミ、又はクロム蒸着させて偏光ミラー144と一体に形成される。回折面147の形状及びその最大径は、第1、2実施例で説明したものと同一である。要するに、この回折面147に要求されることは、偏光ミラー144を透過した測定光を反射させて球面の回折光、つまり参照光を発生させることである。

【0022】反射された球面波のP S偏光光（測定光及び参照光）は、集光レンズ49に向かい平行光となり、検光子（アナライザー）94に入射する。検光子94は、P S偏光光を同じ方向に偏光させてS偏光の参照光及びP偏光の測定光とを干渉させる。検光子94で同じ方向に偏光させる量を調整すれば干渉縞のコントラストを調整することができる。S偏光の参照光及びP偏光の測定光は、検光子94及び集光レンズ48を経てCCD50に集光し、CCD50で干渉し干渉縞として測定される。CCD50を配置するかわりに、スリガラス等を用いて直接干渉縞を目視することも可能である。図4中の偏光ミラー144は、S偏光を透過しP偏光を反射させる機能を有しているが、その逆にP偏光を透過しS偏光を反射させる機能であってもよい。

【0023】偏光ミラー144自体も、所定のうねり又は荒さを有しているため、球面波の回折光（参照光）が偏光ミラー44を透過する際に発生する波面の変化を事前に計算によって求めておくか、被検物の代わりに原器を配置して求める必要がある。参照光の参照波面と測定光の測定波面との位相差を異ならせて干渉縞の明暗を確認するためには、移動ミラー88を不図示のピエゾ、モータなどアクチュエータによって移動することによって干渉縞の縞走査を行う。なお、第3実施例では、移動ミラー88を移動させる構造にしたが、ミラー84, 88の少なくともいずれか1つを移動できる構造とすれば干渉縞の縞走査を行うことができる。第3実施例は、第1、2実施例と異なり、干渉縞の縞走査のために偏光ミラー144と反射回折面147との間隔を調整しなくてもよい。また、偏光ミラー144と反射回折面147とを一体に形成できる。また、偏光ミラー144と反射回折面147との間隔が無視できるほど狭いため、レーザー光源のコヒーレント長を心配する必要がなくなる。

【0024】—第4実施例の干渉計—

図5は、第4実施例の干渉計100を説明するものである。第1、2実施例と同じ部材には同一番号を付している。第1～2実施例の干渉計は、被検物60が特に凹面を計測するものであったのに対し、この第4実施例の干渉計は、被検物62が特に凸面、又は非球面を計測するものである点で相違する。図5において、ピンホール72Aからの球面波は、Null（ヌル）素子64を介して被検物61の表面（被検面）に照射される。Null素子64は計算機プログラム等又はレンズ系で構成される。Null素子64は、被検物61の被検面の理想的な形状に合致するように、球面波を回折させるものであり、予め計算して作成されるものである。被検物61の被検面から反射された光はNull素子64を再び通過し、ハーフミラー145を経由して反射型回折部材146の反射面146Aに集光する。ハーフミラー145は、照射された球面波の変形ができるだけ少なくなるように、設計された形状になっており、裏面に反射／透過率を適宜調整された膜が形成されている。第1、2実施例と同じように、表裏面とも平面のハーフミラーであってもよい。

【0025】被検面で反射された測定光の一部は、ハーフミラー145で反射されて集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。また、測定光の一部は、ハーフミラー145を透過し反射型回折部材146の反射面146Aに届き、反射型回折面146Aで反射回折してハーフミラー部分を透過し集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。この反射型回折面146Aで回折反射された光は参照光となる。測定光と参照光とは、CCD50で干渉し干渉縞として測定される。なお、第3実施例のようにP S偏光光を使った干渉計100の構造でも計算機プログラム又はNull（ヌル）素子64を使用することができる。

【0026】—第5実施例の干渉計—

図6は、第5実施例の干渉計100を説明するものである。第1実施例と同じ部材には同一番号を付している。第1～4実施例の干渉計は、被検物60が特にミラーなどの反射面を計測するものであったのに対し、この第5実施例の干渉計は、被検物62が特に石英、フッ化カルシウム等で形成されたレンズの透過波面を計測するものである点で相違する。図6において、不図示のレーザー光源40からのレーザー光は、ピンホール板72のピンホール72Aを通過し、ピンホール72Aから球面波として、被検物62の被検面62A, 62Bに照射される。ピンホール板72を用いずに単一モード光ファイバー42を用いてもよい。また、ピンホール72Aの径（直径） ϕ は、第2実施例で説明したものと同様である。

【0027】被検物62の透過した収束波面が、ビームスプリッタ78で一部反射され、反射した一部の光はハーフミラー74を透過し反射型回折ピン46に届き、反射型回折ピン46で反射回折してハーフミラー74を透過し、さらにビームスプリッタ78を透過して集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。ハーフミラー74を透過しこの反射型回折ピン46で回折反射された光は、被検物62の収差、面形状に関係なく参照光となる。また、ビームスプリッタ78で一部反射された一部の光はハーフミラー74で反射され、ビームスプリッタ78を透過して集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。このハーフミラー74で反射された光は測定光となる。

【0028】測定光と参照光とは、CCD50で干渉し干渉縞として測定されるが、CCD50を配置するかわりに、スリガラス等を用いて直接干渉縞を目視することも可能であることは、上述した通りである。図6の干渉計では、被検物62の被検面62A, 62Bの両面を透過した球面波が測定光となる。

【0029】反射型回折ピン46の面46Aは、以下の条件を満たす最大径（楕円であれば長軸） ϕ であることが上述したように要求される。

$$\phi < \lambda r / 2a$$

位相差を異ならせて干渉縞の明暗を確認するためには、ハーフミラー74とピン46との光学間隔を調整することによって干渉縞の縞走査を行う。かかる光学間隔は、第1実施例で説明した方法によって調整する。本第5実施例のハーフミラーは両側平面であったが、第4実施例のように、ハーフミラー表面を半球形状にしてもよいし、また、反射型回折部材がガラス等に反射膜を蒸着して形成してもよい。なお、被検物62の被検面62A, 62Bが非球面の場合には、前述の計算機プログラム又はNull（ヌル）素子64を、ピンホール72Aと被検物62の間に配置することによって形状を測定することができる。

【0030】—第6実施例の干渉計—

図7は、第6実施例の干渉計100を説明するものである。第1、3実施例と同じ部材には同一番号を付している。第5実施例の干渉計と同様にレンズの透過面を計測する

ものである。図7においても、ピンホール72Aから球面波が発生するところまでは、第3実施例で説明した内容と同じである。

【0031】被検物62に照射された球面波のP S 偏光光は、その被検物62を透過して偏光ビームスプリッタ77に到達する。P 偏光光は偏光ビームスプリッタ77を透過して $\lambda/4$ 板75を経由し全反射ミラー143で反射され、再度 $\lambda/4$ 板75を経由してS 偏光光となり、偏光ビームスプリッタ77で反射され集光レンズ49に向かう。この全反射ミラー143で反射された光が測定光となる。これがS 偏光光は偏光ビームスプリッタ77で反射して $\lambda/4$ 板76を経由し反射型回折面146Aで反射され、再度 $\lambda/4$ 板76を経由してP 偏光光となり、偏光ビームスプリッタ77を透過して集光レンズ49に向かう。この反射型回折面146Aで回折反射された光は参照光となる。その後P S 偏光光は、第3実施例で説明したように、検光子94で同一方向に偏光されて集光レンズ48で集光しCCD50に到達する。測定光と参照光とは、CCD50で干渉し干渉縞として測定され、検光子94の調整により干渉縞のコントラストを調整できる。全反射ミラー143と反射型回折面146Aとは、偏光ビームスプリッタ77から等距離になるように配置される。レーザー光源のコヒーレント長以上に、偏光ビームスプリッタ77から全反射ミラー143、反射型回折面146Aまでの距離の差が離れてしまうと干渉しなくなるからである。

【0032】全反射ミラー143は、表面に全反射膜（アルミ、クロム等の蒸着）が形成されている。全反射させるため、ガラス等を介せずに球面波を変形させないほうが好ましいからである。また、図7では偏光ビームスプリッタ77の入射・射出面が球状に形成されているが、それは球面波がビームスプリッタ77の影響により変形しないようにするためであり、偏光ビームスプリッタ77の入射・射出面が平面であっても計算によりキャリブレーションをする場合には、ビームスプリッタ77の影響を除去できる。

【0033】—第7実施例の干渉計—

図8は、第7実施例の干渉計100を説明するものである。第1実施例と同じ部材には同一番号を付している。第1～6実施例の干渉計は、反射を使った回折面46A, 146A, 147を使って参照光を生成していたのに対し、この第7実施例の干渉計は、ピンホール110Aを使って参照光を生成する点で相違する。不図示のレーザー光源40からのレーザー光は、単一モード光ファイバー42で平行光の形で導かれ、出射端42Aから球面波として、被検物60の表面（被検面）に照射される。光ファイバー42の出射端42Aは、被検物60の軸中心に向かって配置される。出射端42Aのコア径（直径） ϕ は、第1実施例で説明した通りである。被検物60で反射された測定光の一部は、ガラス板110に形成されたピンホール110Aを通過して回折し、集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。この回折ピンホー

ル110Aで回折された光は参照光となる。ガラス板110の表裏面の少なくとも一方には、減光膜112が形成されており、被検物60で反射された光は、減光されて集光レンズ48に向かいCCD50に集光する。この減光された測定光と参照光とは、CCD50で干渉し干渉縞として測定される。

【0034】ピンホール110Aの開口径（直径） ϕ は、以下の条件を満たす必要がある。

$$\lambda/2 < \phi < \lambda r/2a$$

λ : レーザー光の波長、 r : 被検面の曲率半径、 a : 被検面の口径

ピンホール110Aの開口径 ϕ が下限を超えて小さい径であると、球面波を生じる光の光量が少なくなるため、S/N比を得ることが困難となるからである。ピンホール110Aの開口径 ϕ が上限を超えて大きい径であると、ピンホール110Aで生じる球面波が歪むからである。

【0035】図8中のガラス板110及びガラス板110に形成された減光膜112は、図5に示すような半球状のものであってもよい。ガラス板110自体も、完全な平面でなく所定のうねり又は荒さを有しているため、球面波の回折光（参照光）がガラス板110及び減光膜112を透過する際に発生する波面の変化を事前に計算によって求めておくか、被検物の代わりに原器を配置して求める必要がある。これらの手法によって求められた波面の変化による誤差は、干渉縞の解析をコンピュータ55で行う際に、キャリブレーションを行って取り除けばよい。

【0036】また減光膜112の減光率を変えることによって干渉縞のコントラストを変えることが可能であるが、減光膜112の減光率が一定のままだと図8中の矢印に示すように、ガラス板110を光軸方向に移動させることでも干渉縞のコントラストを変えることができる。これは、ガラス板110の光軸方向の位置に応じて、ピンホール110Aの領域と測定光との領域が変わる原理による。なお、被検物60の被検面が非球面の場合には、曲率半径が部分毎に異なるから、ピエゾ、モータなどを備えたステージ32によって、被検物60を図8中の矢印方向に移動させることによって形状を測定する。

【0037】以上の第1～第7実施例で開示された形態は、光源にHe-Neレーザーを用いたが、He-Neレーザーより波長の短い紫外線、軟X線などを用いても良い。波長を短くすればするほど、高精度の形状測定が可能となる。また、球面の回折光を発生される反射回折部材として、第1、2、5実施例で回折ピンの面46Aを適用し、第3、6実施例で反射回折面146Aを適用したが、第1、2、5実施例で反射回折面146Aを適用し、第3、4、6実施例で回折ピンの面46Aを適用してもよい。

【0038】干渉計で測定された被検物の適用例ーミラー、レンズなどの被検物は、上述した干渉計、形状測定装置及び形状測定方法により、高精度に計測することができる。被検物の精度が出ていなかった場合には、

コンピュータ55で求められた結果に基づいて、その被検物を研磨し所定の精度内に追い込んでいく。

【0039】所定の範囲内に入ったミラー、レンズなどの被検物は、高精度のミラー及びレンズが使用される、例えば複数枚のミラーを使用した軟X線（波長5～15nm: Extreme Ultra Violet）、X線露光装置用の投影光学系に適用することができる。また、複数枚のレンズを使用したエキシマレーザー、i線等の露光装置用の照明光学系又は投影光学系に搭載することができる。ここで、WO99/26728号などで開示される軟X線露光装置用の投影光学系POについて図9を用いて詳細に説明する。この図9に示されるように、光源からの光束ELは、ミラーMで反射され、レチクルステージRST上のレチクルRに照射される。レチクルRで反射された光束は、投影光学系POを介してウエハステージWST上のウエハW上に照射される。レチクルRに描かれた半導体回路パターンをウエハ上に露光して半導体回路（チップ）を作成するためには、レチクルR及びウエハWが図中の矢印で示される方向へ同期して走査される。

【0040】投影光学系POは、レチクルRで反射されたEUV光ELを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー（反射光学素子）と、これらのミラーM1～M4を保持する鏡筒PPとから構成されている。前記第1ミラーM1及び第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値（標準偏差）で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。この誤差内に加工されているかを検査するために、本実施例を使った干渉計、形状測定装置及び形状測定方法が使われる。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光に対する反射層が形成されている。

【0041】この場合、図9に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には穴が空けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるよう第1ミラーM1には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としても良い。

【0042】投影光学系POが置かれている環境は真空であるため、露光用照明光の照射による熱の逃げ場がない。そこで、本実施形態では、ミラーM1～M4と当該ミラーM1～M4を保持する鏡筒PPの間をヒートパイプHPで連結するとともに、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒PPを内側のミラー保持部50と、その外周部に装着された冷却装置としての

冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0043】投影光学系POでは、露光用照明光（EUV光）ELの照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1、M2、M3、M4が一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、本実施形態では、図9に示されるように、ミラーM1、M2、M4等については、その裏面側のみでなく表面側（反射面側）の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。かかる冷却温度と合致するように、図1に示したチャンバー70内の温度管理することが好ましい。

【0044】

【発明の効果】本発明は、測定光と参照光とがほぼ同じ距離を経由して測定面に到達することができる。従って、干渉縞の測定誤差が少なくなるとともに光源のコヒーレント長が短くてすむ。また、測定光から一部の光を取り出す光学部材がハーフミラーであれば、ハーフミラーの透過／反射率を容易に可変できるので干渉縞のコントラストの調整も容易にでき、測定光から一部の光を取り出す光学部材が偏光ビームスプリッタであれば、検光子を調整することで干渉縞のコントラストの調整も容易にできる。さらに、光路中の一部のミラー等を移動させることで、参照光と測定光との波面の位相差を変えるこ

とができるため、干渉縞の走査が行い易く被検面の形状などを確認し易い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の形状測定装置の全体構成を表した図である。

【図2】形状測定装置に使われる第1実施例の干渉計であり、球面波を発生させるために光ファイバーを使用している。凹面鏡の測定に適している。

【図3】形状測定装置に使われる第2実施例の干渉計であり、球面波を発生させるために回折ピンホールを使用している。凹面鏡の測定に適している。

【図4】形状測定装置に使われる第3実施例の干渉計であり、PS偏光光の球面波を使って凸面鏡を測定している。

【図5】形状測定装置に使われる第4実施例の干渉計であり、特に非球面形状の凸面鏡の測定に適している。

【図6】形状測定装置に使われる第5実施例の干渉計であり、光を透過するレンズ等の被検物の測定に適している。

【図7】形状測定装置に使われる第6実施例の干渉計であり、光を透過するレンズ等の被検物をPS偏光光の球面波を使って測定している。

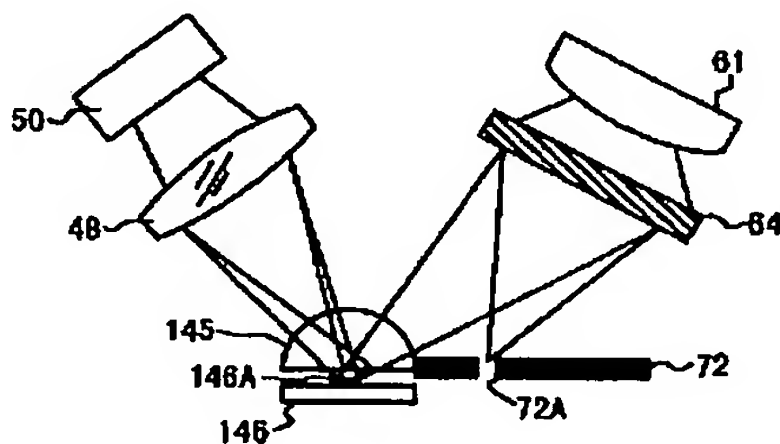
【図8】形状測定装置に使われる第7実施例の干渉計であり、ピンホール開口を使って参照光を生成する測定方法である。

【図9】形状測定装置を用いて測定された反射ミラーを軟X線（EUV）用露光装置の投影光学系に用いた例を示す。

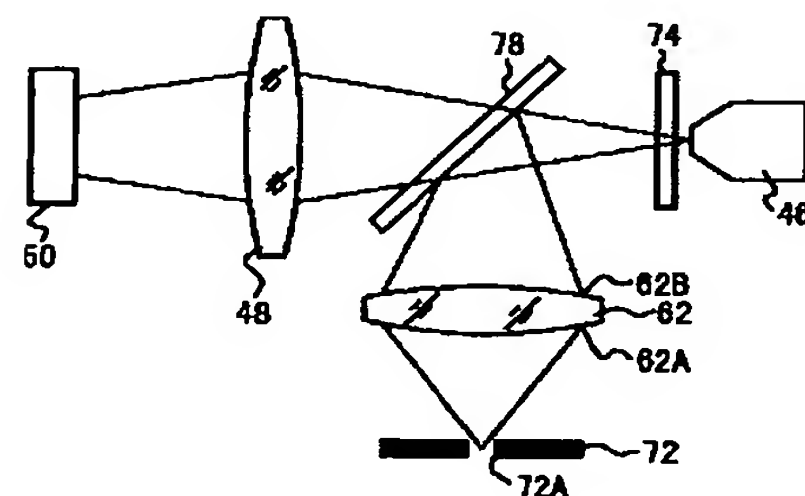
【主要部分の符号の説明】

42……光ファイバー、44, 74, 145……ハーフミラー、45……ピンホール板、46……回折反射ピン、48……集光レンズ、50……CCD、60, 61, 62……被検物、82, 86, 92, 96……λ/4板、80, 77, 90……偏光ビームスプリッタ、94……検光子、146……反射型反射面

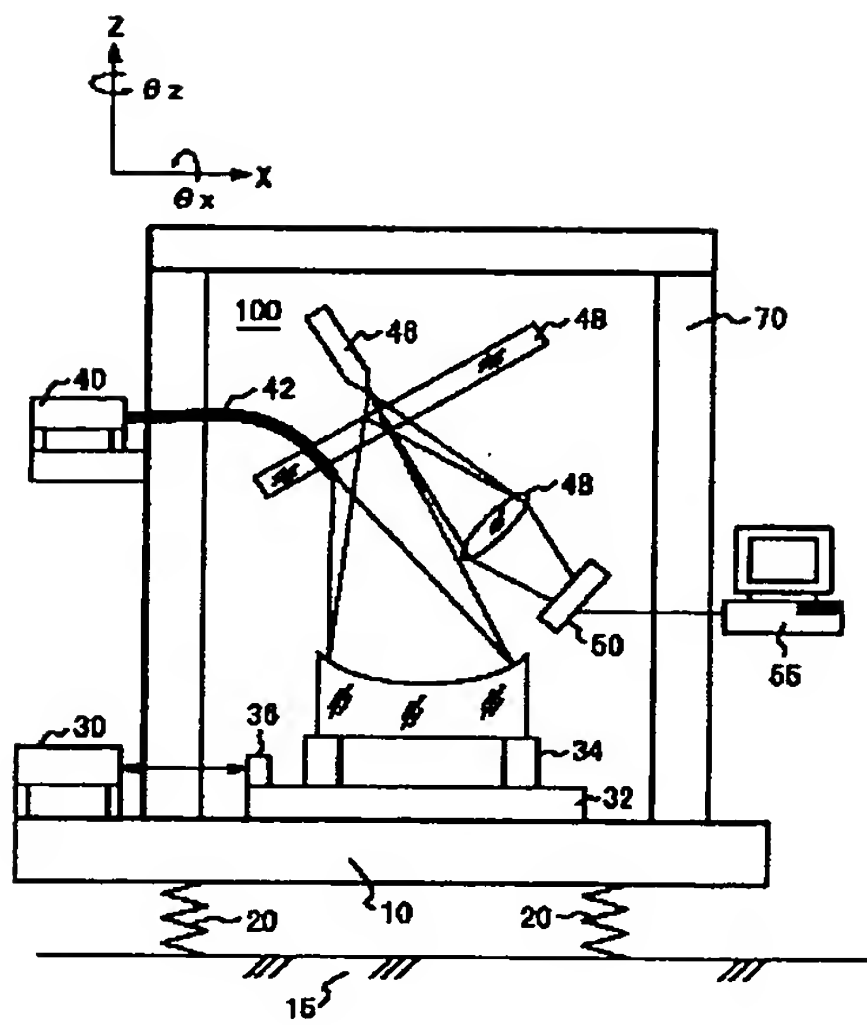
【図5】



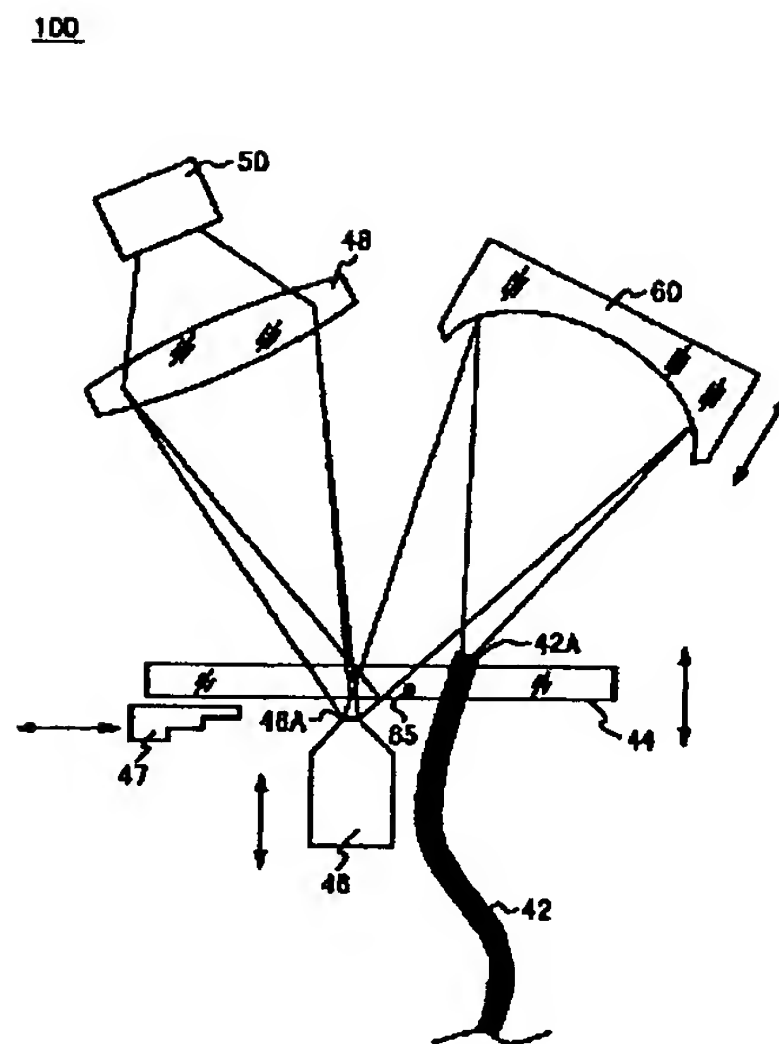
【図6】



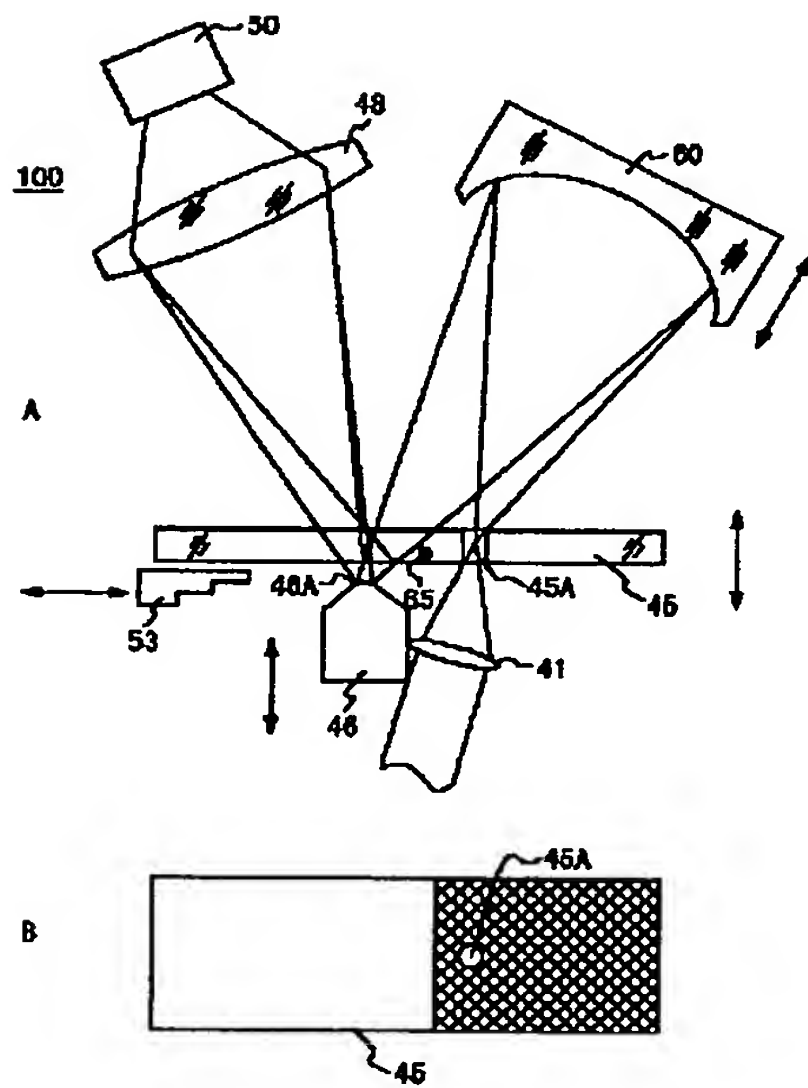
【図 1】



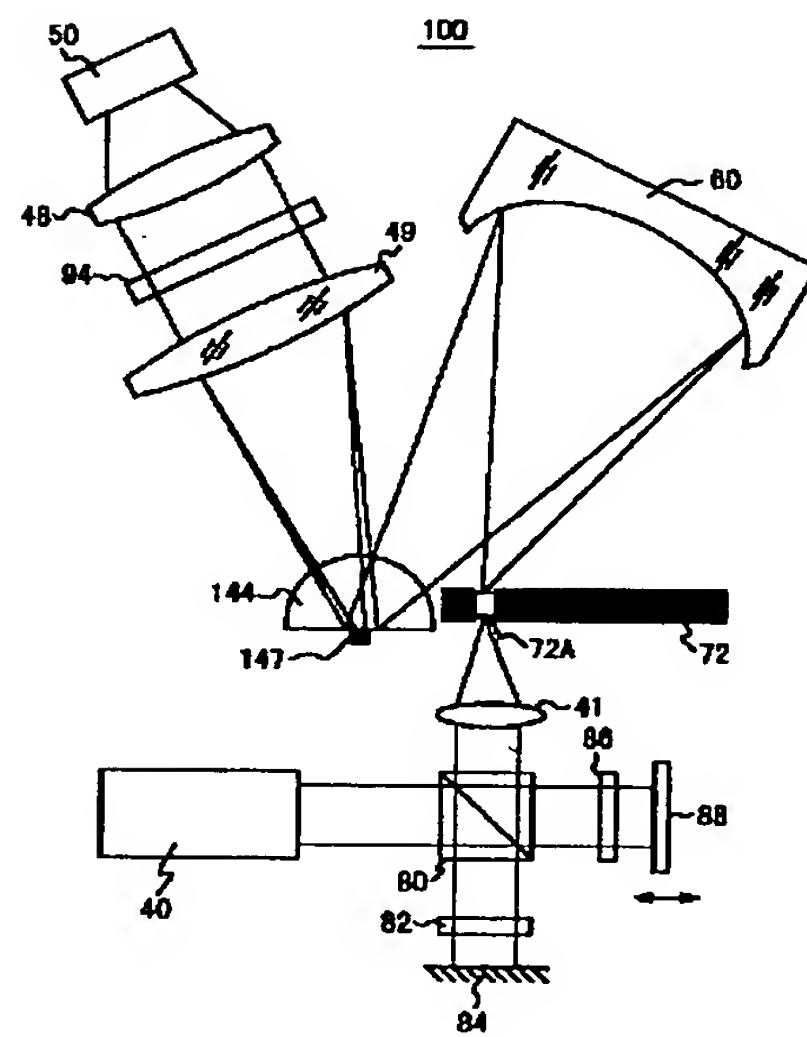
【図 2】



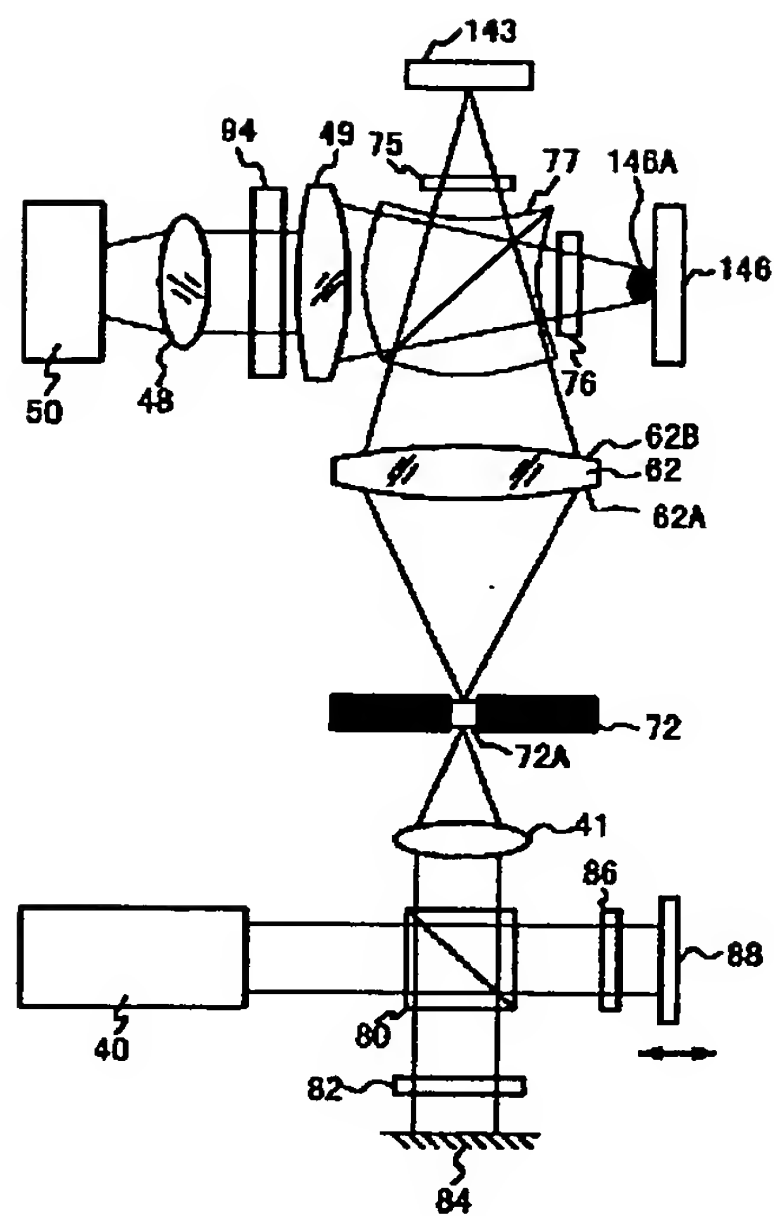
【図 3】



【図 4】

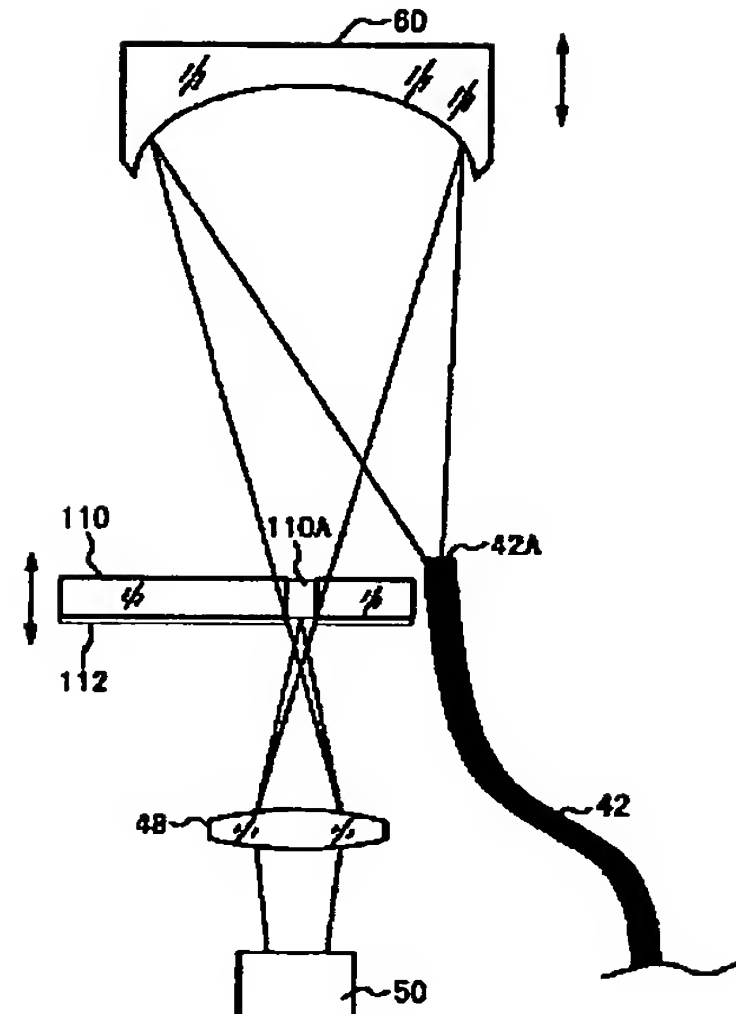


【図 7】

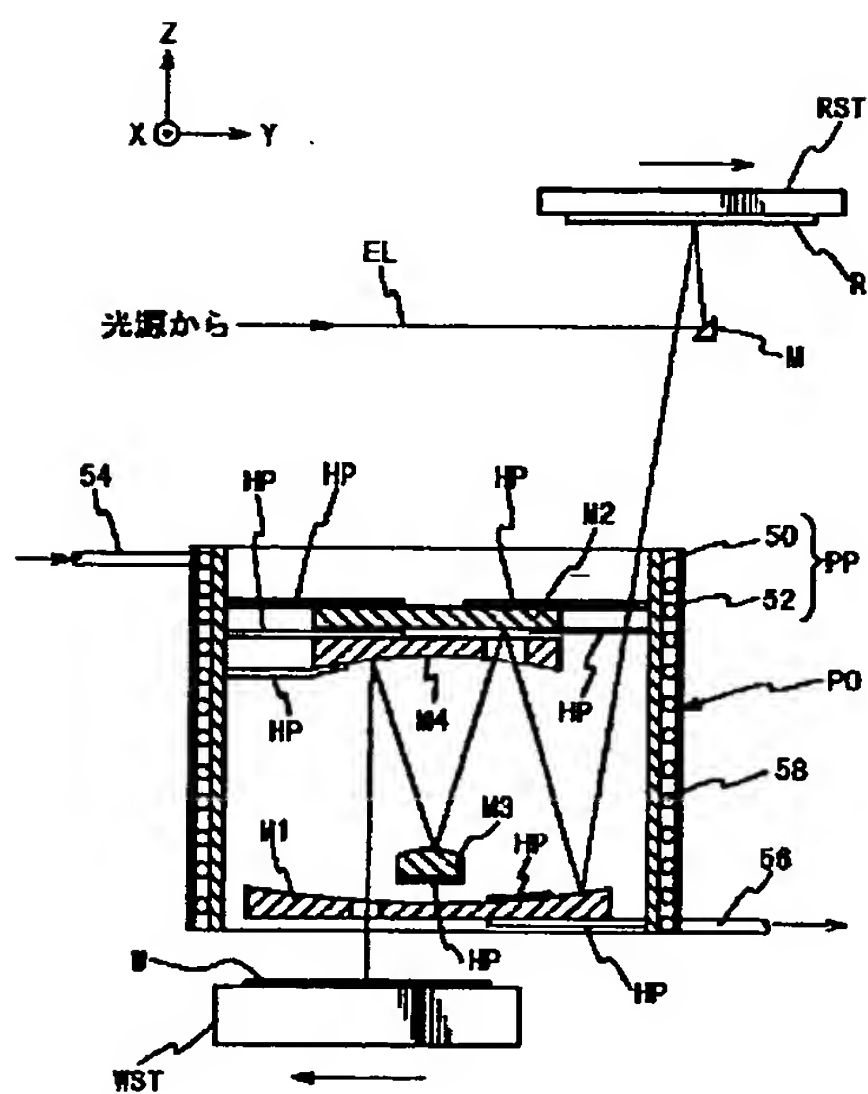


【図 8】

100



【図 9】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H01L 21/30

531

K
A

F ターム(参考) 2F064 AA09 BB04 BB05 FF02 GG03
GG20 GG22 GG23 GG34 GG38
GG51 HH03 HH08 JJ01
2F065 AA45 BB05 CC22 DD09 DD11
DD14 FF52 GG05 JJ03 JJ26
LL00 LL02 LL30 LL34 LL36
LL37 LL51 NN05 PP12
2H097 AA02 AA03 AB09 BA02 CA15
EA01 EA03 GB01 LA10
5F046 BA03 DA26 GA03 GB01 GB09